中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 50(4): 66～73 (2001)

微生物接種對洋桔梗生長與植體磷變化之研究[1]

林素禎[2] 林淑媛[2] 吳繼光[3]

摘要：本試驗利用接種叢枝菌根菌、溶磷細菌及游離性固氮細菌，期能幫助洋桔梗生長。洋桔梗幼苗在4個葉片時進行接種試驗，栽培介質爲蛭石、珍珠石與泥炭苔的混合物（體積比爲6：3：1），生長溫度爲23℃/18℃（白天/晚上），每週以修正過的霍格蘭營養液澆灌。在接種116天後，單獨接種菌根菌或游離性固氮菌皆可明顯地增加洋桔梗地上部與根之乾重，地上部乾重分別增加17%與52%，根乾重分別增加56%與50%。單獨接種溶磷細菌之處理與對照組無明顯差異。複合接種菌根菌與溶磷細菌或游離性固氮菌，或三種菌一起接種，這三種處理皆可明顯增加洋桔梗之地上部與根之乾重，地上部乾重分別增加30%，42%與39%，根乾重分別增加53%，53%與56%。複合接種菌根菌與游離性固氮菌及複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌這兩種處理，洋桔梗之花朵數最多，明顯比對照組多2.4朵與3.2朵，且比對照組提早14天開花。接種菌根菌後再接種游離性固氮菌或溶磷細菌，或三種菌複合接種，這三處理之菌根菌感染率皆比單獨接種菌根菌之處理者低，但地上部之乾重皆比單獨接種菌根菌之處理者重。不同的微生物接種處理對植體磷濃度皆無增加效果。

關鍵詞：洋桔梗、叢枝菌根菌、游離性固氮細菌、溶磷細菌、磷。

前　言

洋桔梗 (*Eustoma grandiflorum*) 是近年來在國內發展快速的新興切花之一，花形優美，花色多，且瓶插壽命長，除了以切花生產的品種外，亦有矮性品種供盆栽與花壇的佈置。洋桔梗屬於龍膽科，一、二年生植物，原產於美國中部內布拉斯加至墨西哥之間的石灰岩草原地帶，土壤pH值爲7.4~8，含有多量的鈣、鎂、鉀。育種工作主要在日本進行，育出的品種相當多而富變化。洋桔梗小苗生長緩慢，幼苗期長，小苗長至二對本葉以上才可定植，約需2~3個月[(10)]。洋桔梗的種子很小，發芽最適合的溫度爲25℃，屬於好光性種子，播種時不宜覆土，光量需在5000Lux以上，幼苗生長須在涼溫下才不會產生簇狀化，以日溫23℃，夜溫18℃最好[(11)]。

叢枝內生菌根菌能幫助宿主廣泛地吸收土壤中的養分特別是磷肥，進而對作物有促進生長的效用[(23)]。此外，叢枝內生菌根菌也可提高植物幼苗移植的存活率，加速健康種苗的生長，提早開花，增加花朵數及花朵大小，延長切花的插花壽命，幫助植物抵抗逆境等[(1-3, 5-8, 23)]。

土壤中除了菌根菌外，還有一些有益微生物可幫助作物生長，如溶磷細菌與游離性固氮細菌。磷在土壤中約佔0.05%(w/w)，但植物可利用的磷只佔全磷量的0.1%[(32)]，磷肥施入土壤後，僅5-15%爲當季作物吸收，其餘在酸性土壤中多與鋁及鐵結合形成難溶性鋁結合磷及鐵結合磷；在鹼性土壤中多與

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第2094號。
2. 本所農化系助理研究員、約用助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 原行政院農業委員會農業試驗所副研究員，現爲臺鹽實業股份有限公司生技廠副廠長。臺灣省　臺南市。

鈣結合，形成難溶性鈣結合磷，對植物吸收造成阻礙[31, 29]。接種溶磷菌後，可促進植物生長，增加磷的吸收，提高磷肥的利用率[13, 22, 25]。

游離性固氮細菌廣泛存在土壤中，是提供土壤氮肥重要來源之一[26, 27]。游離性固氮細菌亦可產生植物生長促進物質 (plant growth-promoting substances)，幫助作物生長，增加作物產量[16, 18, 19]。游離性固氮細菌 (*Azospirillum*) 產生的植物生長促進物質，如IAA，gibberellin和類似cytokinin的物質[33]，作物接種*Azospirillum*後，側根增加，側根上的根毛亦增多[28, 33]。

植物複合接種菌根菌與溶磷細菌後，其所吸收的氮量及磷量比單一接種者所吸收的多[14, 30]。亞洲型百合經複合接種菌根菌與溶磷細菌後，植株高度與葉片數明顯比對照組與單一接種者增加[7]。玉米單獨接種菌根菌 (*G. fistulosum*) 後，地上部乾重與總葉面積與對照組比較沒有明顯增加，但複合接種菌根菌與溶磷螢光細菌 (*Pseudomonas putida*) 後，可明顯增加地上部乾重與總葉面積，且菌根菌感染率亦顯著增加[21]。

植物複合接種菌根菌與游離性固氮細菌後，其根圈內的細菌與放線菌的數目比單一接種者多[15]。番茄接種菌根菌 (*G. fasciculatum*) 後，根圈內游離性固氮細菌 (*Azotobacter chroococcum*) 之數目增加，番茄根部接種游離性固氮細菌 (*A. chroococcum*) 後，菌根菌 (*G. fasciculatum*) 之感染率及產孢量增加，複合接種菌根菌與游離性固氮細菌的番茄，其乾物重明顯比未接種者大[15]。複合接種菌根菌與游離性固氮菌後，可明顯的促進文旦柚氮與磷的吸收量[8]。

對於將菌根菌及其他有益微生物複合接種於洋桔梗之研究尚未見報導，本報告除了探討菌根菌單獨接種之外，亦探討菌根菌與溶磷細菌、菌根菌與游離性固氮菌兩菌種複合接種及菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌三種菌種複合接種，對洋桔梗生長與植體磷濃度之影響。

材料與方法

試驗作物：洋桔梗品種爲矮性品種（莉莎-藍），以種子播種育苗，俟洋桔梗幼苗長至4個葉片時，選取生長勢相當之幼苗進行接種試驗。

作物生長環境：種子灑播於育苗介質（蛭石、珍珠石與泥炭苔體積比＝1：1：1）上，以灑水壺澆水保濕，種子發芽溫度爲25℃，育苗60天後，選取生長勢相當之幼苗進行接種試驗。洋桔梗接菌試驗於農業試驗所大型生長箱中進行，生長箱光照強度8000~12000Lux，光照時間16小時，光照時溫度爲23℃，無光照時溫度爲18℃。

栽培介質：接菌後之栽培介質爲蛭石、珍珠石與泥炭苔之混合物（體積比6：3：1）。泥炭苔爲pH值近於6，無添加養份之商品。磷礦石粉、米糠與栽培介質一起混合，磷礦石粉的添加量爲每升介質加24g，米糠的添加量爲每升介質加12g。每盆栽培介質的量爲3升。磷礦石粉P_2O_5含量爲32~33%，由臺灣肥料公司購得。米糠氮含量爲1.95%，磷濃度爲1.77%，本試驗利用米糠作爲營養來源之一。

試驗處理：試驗處理有七種：(1) 對照組，不接種菌 (Control)，(2) 接種菌根菌 (VA)，(3) 接種溶磷細菌 (PS)，(4) 接種游離性固氮菌(NF)，(5)複合接種菌根菌與溶磷細菌 (VA+PS)，(6) 複合接種菌根菌與游離性固氮菌(VA+NF)，(7) 複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌 (VA+PS+NF)。每一處理之洋桔梗各種20盆，每盆一株。

試驗菌種：(1) 菌根菌：試驗所使用之菌根菌菌種爲*Glomus intraradices*，菌根菌以高粱當宿主，高粱種在以砂加煉石爲介質的盆栽中，高粱收穫後，以塑膠袋密封，置於冷房4℃中保存，本試驗所使用之菌土在冷房中保存了6個月。(2) 溶磷細菌 (TARI-93111623-1)：由選擇性培養基篩選出可溶解磷酸鈣之菌株[35]，菌株來源爲農業試驗所之試驗田土與自製堆肥。(3) 游離性固氮菌 (TARI-94121508)：以選擇性培養基[17]篩選之菌株，再經氣相層析儀 (GC) 測定，確定菌株可將乙炔還原成乙烯，即爲可固

氮之菌株，菌株之來源亦由農業試驗所之試驗田及堆肥中篩選而得。溶磷細菌與游離性固氮菌培養一週後，菌液以離心法分離培養液與菌體，培養液倒棄，收集菌體，菌體加水稀釋至定量體積，菌液使用時之菌數爲 10^7cells ml^{-1}。

接種方法：(1) 菌根菌之接種：接種方法爲菌土置於洋桔梗根部下方2~3公分處，菌土的接種量爲每株幼苗接100個孢子。(2) 溶磷細菌、游離性固氮菌之接種：接種方法爲吸取處理好之菌液，延幼苗之莖部底端澆灌，使菌液流至根部。每株幼苗接種量爲 1×10^8cells。溶磷細菌與游離性固氮菌的接種時間爲菌根菌接種兩週後再行接種。

施肥方法：苗期每星期以Modified Hoagland營養液（含磷16mg/kg）澆灑。接菌處理後，以1/2磷之營養液（含磷8mg/kg）澆灌，生長初期，每週澆一次營養液，每盆50ml，俟植株長至10~12片葉子時，每週澆兩次營養液，每盆50ml。

生育調查與植體分析：洋桔梗開花後定期調查花朵數。於接菌後生長116天採收植株，每處理各取5株作菌根菌感染率調查，其餘植株，分地上部（不含花）與根兩部份，分別洗淨、烘乾、秤其乾物重。葉片與根分別磨碎，並以硫酸分解與過氧化氫氧化，分解液以鉬黃法測定磷濃度。

菌根菌感染率之測定：以酸性品紅 (acid fuchsin) 染色[24]，以格子線交叉法計算菌根菌感染率[20]。

結果與討論

一、微生物接種對洋桔梗花朵數之影響

洋桔梗經處理後定期調查其花朵數，結果如表1，由表1可知，複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌之處理 (VA+PS+NF)，在試驗處理86天後，每株花朵數平均爲0.7朵，爲所有處理中花朵數最多之處理，對照組 (Control) 尙未開花。在試驗處理100天後，複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌之處理 (VA+PS+NF)，每株花朵數平均爲2.7朵，爲所有處理中花朵數最多之處理，另外，複合接種菌根菌與游離性固氮菌之處理 (VA+NF)，每株花朵數平均爲1.8朵，這兩處理每株花朵數皆明顯比對照組 (Control) 多，對照組尙未開花。以上這兩個處理皆比未接菌的對照組提早14天開花。其他四組處理，接種菌根菌 (VA)，接種溶磷細菌 (PS)，接種游離性固氮菌 (NF)，及複合接種菌根菌與溶磷細菌 (VA+PS)，這四組處理花朵數雖然比對照組多，但在統計上與對照組無顯著差異。對照組在本試驗第100天後才開始開花，因此所有接菌的處理，雖然在統計上並非全然有顯著的差異，但皆有提早14天開花的現象。有關菌根菌與溶磷菌接種可提早開花的報告很多，如非洲菊、一串紅、瓜葉菊與百日草等花卉接種繡球屬菌根菌可提早開花[1, 4, 9, 12]；而矮牽牛與一串紅接種溶磷菌亦可提早開花[3, 4]。但接種游

表1. 洋桔梗接種不同微生物後花朵數變化的情形

Table 1. Effect of different microbial inoculation on the flower number of *Eustoma grandiflorum*.

Unit: flower no./plant

Treatment	Days after inoculation						
	86	91	96	100	105	112	116
Control	$0^{b\,Z}$	0^{b}	0^{c}	0.1^{c}	0.1^{c}	0.2^{d}	0.2^{d}
VA^{Y}	0.2^{b}	0.3^{b}	0.4^{bc}	0.4^{bc}	0.7^{bc}	0.8^{bcd}	1.0^{cd}
PS	0.1^{b}	0.1^{b}	0.2^{bc}	0.4^{bc}	0.5^{bc}	0.7^{cd}	0.8^{cd}
NF	0.2^{b}	0.6^{ab}	0.8^{bc}	1.3^{bc}	1.8^{ab}	2.0^{abc}	2.1^{abc}
VA+PS	0.3^{b}	0.4^{b}	0.7^{bc}	1.0^{bc}	1.2^{bc}	1.2^{bcd}	1.3^{bcd}
VA+NF	0.4^{ab}	0.6^{ab}	1.3^{ab}	1.8^{ab}	2.0^{ab}	2.3^{ab}	2.6^{ab}
VA+PS+NF	0.7^{a}	1.2^{a}	2.1^{a}	2.7^{a}	3.1^{a}	3.3^{a}	3.4^{a}

[Z] Means each in column with the same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

[Y] VA: Vesicular arbuscular fungi; PS: Phosphorus solubilizing bacteria; NF: Free-living N_2-fixing bacteria.

離性固氮菌可提早開花的報告並不多見，因游離性固氮菌之接種試驗大多集中在禾本科作物[18]。

在試驗處理116天後，複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌之處理，每株花朵數平均爲3.4朵，爲所有處理中花朵數最多之處理，另外，複合接種菌根菌與游離性固氮菌之處理，每株花朵數平均爲2.6朵，接種游離性固氮菌之處理，每株花朵數平均爲2.1朵，這三種處理之花朵數皆明顯比對照組多，對照組每株花朵數平均爲0.2朵。其他三組處理，接種菌根菌，接種溶磷細菌，及複合接種菌根菌與溶磷細菌，這三組處理與對照組無顯著差異。

在試驗處理116天後，複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌之處理開花率爲65%，爲所有處理中開花率最高之處理，另外，複合接種菌根菌與游離性固氮菌之處理開花率爲60%，接種游離性固氮菌之處理，開花率爲55%，其他三組處理，接種菌根菌，接種溶磷細菌，及複合接種菌根菌與溶磷細菌，這三組處理開花率皆爲35%，而對照組之開花率爲10%。在本項試驗中發現單獨接種游離性固氮細菌或與菌根菌複合接種對於洋桔梗的開花及花朵產量皆有正面的影響。

二、微生物接種對洋桔梗乾重，磷吸收量與植物菌根菌感染率之影響

由表2可知，接菌116天後洋桔梗在地上部之乾重方面，除了接種溶磷細菌之處理與對照組無顯著差異外，其他五種處理之地上部乾重皆明顯比對照組重。對照組地上部乾重爲1.14g/plant，接種溶磷細菌之處理地上部乾重爲1.23g/plant。其他五種處理其地上部乾重爲1.33~1.73g/plant。在根之乾重方面，除了接種溶磷細菌之處理與對照組無顯著差異外，其他五種處理之根乾重皆明顯比對照組重。對照組根乾重爲0.36g/plant，接種溶磷細菌之處理根乾重爲0.38g/plant。其他五種處理其根乾重爲0.54~0.56g/plant。

表2. 洋桔梗接種不同微生物製劑後, 對於植體乾重、磷濃度及感染率之影響

Table 2. Effect of inoculation with different microbies on the dry weight, P contents and infection rate of *Eustoma grandiflorum*

Treatment	Shoot dry wt. (g/plant)	Root dry wt. (g/plant)	Leaf P (%)	Root P (%)	Infection rate (%)
Control	$1.14^{d\,Z}$	0.36^{b}	0.32^{a}	0.25^{a}	0^{c}
VA ^{Y}	1.33^{bc}	0.56^{a}	0.24^{bc}	0.20^{bc}	77^{a}
PS	1.23^{cd}	0.38^{b}	0.31^{a}	0.24^{a}	0^{c}
NF	1.73^{a}	0.54^{a}	0.31^{a}	0.20^{bc}	0^{c}
VA+ PS	1.48^{abc}	0.55^{a}	0.26^{b}	0.22^{ab}	50^{b}
VA+ NF	1.62^{a}	0.55^{a}	0.21^{bc}	0.16^{d}	36^{b}
VA+PS+NF	1.59^{ab}	0.56^{a}	0.23^{bc}	0.19^{c}	36^{b}

^{Z} Means in each column with the same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

^{Y} VA: Vesicular arbuscular fungus; PS: Phosphorus solubilizing bacterium; NF: Free-living N_2-fixing bacterium.

在葉的磷濃度方面，對照組，接種溶磷細菌，及接種游離性固氮菌之處理，這三組處理之磷濃度較高，爲0.31~0.32%，明顯比其他四組處理高，其他四組處理磷濃度爲0.21~0.26%。在根的磷濃度方面，對照組，接種溶磷細菌，及接種菌根菌與溶磷細菌，這三組處理之磷濃度較高，爲0.22~0.25%。接種菌根菌與接種游離性固氮菌這兩處理之磷濃度皆爲0.20%。複合接種菌根菌與游離性固氮菌及複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌，這兩處理之磷濃度最低，分別爲0.16%與 0.19%。在七種處理中，複合接種菌根菌與游離性固氮菌，及複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌，這兩處理地上部與根之乾重皆明顯比對照組重，但葉與根之磷濃度卻比對照組低，這可能因部份磷已移至花朵及種子，而這兩處理之花朵數最高，故在葉與根之磷濃度較低。

在菌根的感染率方面，接種菌根菌之處理，其感染率爲77%，明顯比其他處理高，接種菌根菌與

溶磷細菌之處理，其感染率爲50%，複合接種菌根菌與游離性固氮菌之處理，其感染率爲36%，複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌之處理，其感染率爲36%，而對照組，接種溶磷細菌，及接種游離性固氮菌，這三組處理之感染率爲0。接種菌根菌後再接種游離性固氮菌或溶磷細菌，或三種菌複合接種，皆可降低菌根菌之感染率。Gryndler and Vosatka[21]所做之玉米接菌試驗中，接種溶磷細菌 *Pseudomonas putida* 之活細胞後，可使 *Glomus fistulosum* 感染率明顯提高；Bagyaraj and Menge[15]所做的番茄接菌試驗中，接種 *Azotobacter chroococcum* 亦可增加 *Glomus fasciculatus* 之產孢量與感染率，此結果與本試驗結果不同。吳等人[5]於火鶴花組織培養苗接種菌根菌 *Glomus intraradices*，其菌根菌感染率爲41.7 %，複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌後，菌根菌感染率下降爲22.5 %；王等人[3, 4]於一串紅與矮牽牛之微生物肥料接種試驗中，發現接種溶磷菌或枯草桿菌皆可降低菌根菌之感染率。此結果與本試驗結果相同。造成這兩極化的結果，有待進一步研究，推測可能與菌根菌及其所搭配的微生物種類有關。菌根菌感染率的提高並未必對植物有促進生長的作用，相反的，由於較高的感染率，菌根菌爲了生長會消耗植物較多的碳源，反而增加植物的負擔。在這種情形下，對作物的生長未必有利。

此外，本試驗也證實在栽培介質中添加12g的米糠 (212.4mg-P/L) 並不會影響菌根菌感染洋桔梗。在接菌116天後，菌根菌感染率可高達77%，且接種菌根菌與不接菌之對照組比較，可明顯增加洋桔梗地上部與根之乾重，花朵數亦增加，但未達顯著。

單獨接種溶磷細菌之處理與不接菌之對照組比較，洋桔梗地上部乾重、根之乾重與花朵數雖然比不接菌之對照組多，但在統計上無明顯差異。

單獨接種游離性固氮菌之處理與不接菌之對照組比較，可明顯增加洋桔梗之地上部與根之乾重，花朵數亦明顯增加。根據Tien等人[33]試驗指出，游離性固氮菌 (*Azospirillum brasilense*) 可產生植物生長促進物質，如IAA，gibberellin和類似cytokinin的物質。本試驗中所使用之游離性固氮菌亦可產生IAA（未發表資料），故有關游離性固氮菌之作用機制，除了固氮作用之外，植物生長促進物質亦是原因之一。

接種菌根菌後再接種溶磷細菌，在接菌116天後與不接菌之對照組比較，可明顯增加洋桔梗之地上部與根之乾重，花朵數亦增加，但未達顯著；複合接種菌根菌與溶磷細菌之處理，與單獨接種菌根菌或溶磷細菌之處理相比較，其地上部之乾重與花朵數略增加，但無顯著差異。由此可見雖然本試驗所使用之溶磷菌株在功能上較弱，但仍有因共同接種所表現出的加成效果 (synergistic effect)。筆者在文旦柚與百合之微生物接菌試驗，以及Raj等人在小米之微生物接菌試驗中皆有類似之結果[7, 8, 30]。而王等人[3, 4]於一串紅與矮牽牛之微生物肥料接種試驗中，複合接種菌根菌與溶磷菌則無加成效果，這可能與菌根菌及其所搭配的微生物種類有關。

接種菌根菌後再接種游離性固氮菌，在接菌116天後與不接菌之對照組比較，可明顯增加洋桔梗之地上部與根之乾重，花朵數亦明顯增加。複合接種菌根菌與游離性固氮菌之處理，與單獨接種菌根菌之處理比較，可明顯增加洋桔梗地上部之乾重與花朵數。複合接種菌根菌與游離性固氮菌之處理，與單獨接種游離性固氮菌之處理比較，可增加花朵數0.5朵，但在統計上不顯著，在地上部與根之乾重方面亦無明顯差異。由此可見本試驗所使用之游離性固氮菌株在功能上較強，與菌根菌共同接種後所表現出的加成效果 (synergistic effect) 較弱。在Bagyaraj and Menge[15]所做的番茄接菌試驗中，亦有類似之結果。

接種菌根菌後再接種溶磷細菌與游離性固氮菌，在接菌116天後與不接菌之對照組比較，可明顯增加洋桔梗之地上部與根之乾重，花朵數亦明顯增加。而三種菌複合接種之處理與單獨接種菌根菌之處理比較，洋桔梗地上部與根之乾重則無明顯差異，但花朵數明顯增加；三種菌複合接種之處理與單獨接種溶磷細菌之處理比較，洋桔梗地上部與根之乾重皆明顯增加，花朵數亦明顯增加；三種菌複合

接種之處理與單獨接種游離性固氮菌之處理比較，洋桔梗地上部與根之乾重則無明顯差異，花朵數增加1.3朵，但差異不顯著。顯然三種微生物的複合接種較單一接種者有助於花朵產量。

由於複合接種微生物的效果是一綜合性的考量，所有微生物間的相互作用應予重視。近來Toro等人[34]所做的試驗結果顯示兩種菌根菌 (*G. mosseae*) 和 (*G. fasiculatum*) 與溶鈣磷的溶磷菌複合接種效果，前者較後者表現佳。不同的溶磷細菌相比較，鐵磷的溶磷細菌單獨的接種效果較與菌根菌複合接種的效果佳；反之鋁磷的溶磷菌與菌根菌複合接種效果較單獨接種者佳。本試驗所用的溶磷細菌係以鈣磷選擇性培養基所篩選之菌株，而所使用之菌根菌爲 *G. intraradices*。本試驗中，溶磷菌與菌根菌的共同接菌效果有增加但不顯著，這也可能是因菌株的組合非最佳所致。

洋桔梗複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌之處理，尚未見文獻報導，有關其詳細的生長促進機制，尚待進一步研究。

引用文獻

1. 文紀鑾、張喜寧。1994。繡球屬菌根對組織培養非洲菊幼苗生長之影響。臺大農學院研究報告 34(2): 97-110。
2. 文紀鑾、張喜寧。1995。溫度與繡球屬菌根對組織培養非洲菊生長與切花品質之影響。臺大農學院研究報告 35(1): 75-91。
3. 王均琍、林怡廷。1997。不同微生物肥料對矮牽牛生育與開花之影響。國立屏東大學學報 6(4): 251-261。
4. 王均琍、陳榮坤、陳昭源。1997。不同微生物肥料對一串紅生育及開花之影響。中華農學會報 新 179: 125-135。
5. 吳繼光、林素禎、林淑媛、莊耿彰。2000。微生物接種對於火鶴花 (*Anthurium andraeanum*) 組織培養苗生育之影響。中華農業研究 49(1): 57~62。
6. 吳繼光、林素禎合編。1998。囊叢枝內生菌根菌應用技術手冊。臺灣省農業試驗所印行。行政院農業委員會資助。
7. 林素禎、吳繼光、黃山內、洪崑煌。1999。叢枝內生菌根菌與溶磷細菌接種對亞洲型百合球莖增大之影響。中華農業研究 48(2): 135~142。
8. 林素禎、黃山內、洪崑煌、吳繼光。2000。微生物接種對苦柚及文旦柚種苗生長之效應。中華農業研究 49(1): 63~75。
9. 陳建忠、張喜寧。1996。囊叢枝菌根對兩種瓜葉菊生長與開花之影響。臺大農學院研究報告 36(2): 99-1111。
10. 黃達雄。1994。洋桔梗的栽培管理。高雄區農業專訊 (7): 16-17。
11. 歐德瀘。1997。洋桔梗栽培簡介。台灣花卉園藝術學院 (114): 171-176。
12. 鄭淑芬、張喜寧。1991。繡球屬囊叢枝菌根菌對百日草生長與發育的影響。臺大農學院研究報告 31(4): 11-21。
13. Asea, P. E. A., R. M. N. Kucey, and J. W. B. Stewart. 1988. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicilliun* species in solution culture and soil. Soil Biol. Biochem. 20: 459-464.
14. Azcon, R., J. M. Barea, and D. S. Hayman. 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soil by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria. Soil Biol. Biochem. 8: 135-138.
15. Bagyaraj, D. J., and J. A. Menge. 1978. Interaction between a VA mycorrhiza and *Azotobacter* and their effects on rhizosphere microflora and plant growth. New Phytol. 80: 567-573.
16. Barea, J. M., A. F. Bonis, and J. Olivares. 1983. Interactions between *Azospirillum* and VA mycorrhiza and their effects on growth and nutrition of maize and ryegrass. Soil Biol. Biochem. 15: 705-709.
17. Döbereiner, J., and J. M. Day. 1976. Associative symbioses in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. pp. 518-538. in: Proceedings of 1st International Symposium on Nitrogen Fixation, Vol. 2. (Newton, W. E. and C. J. Nyman, eds.). Washington State University Press, Pullman, WA, U. S. A.
18. Dart, P. J. 1986. Nitrogen fixation associated with non-legumes in agriculture. Plant Soil 90: 303-334.
19. Fulchier, M., and L. Frioni. 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays*): effect on yield in a field experiment in central Argentina. Soil Biol. Biochem. 26: 921-923.
20. Giovannetti, M., and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.
21. Gryndler, M., and M. Vosatka. 1996. The response of *Glomus fistulosum*-maize mycorrhiza to treatments with culture fractions

from *Pseudomonas putida*. Mycorrhiza 6: 207-211.

22. Halvorson, H. O., A. Keynan, and H.L. Kornberg. 1990. Utilization of calcium phosphates for microbial growth at alkaline pH. Soil Biol. Biochem. 22: 887-890.
23. Harley , J. L., and S. E. Smith. 1983. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London .
24. Kormanik, P. P., and A. C. McGraw. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. pp. 37-45. in: Methods and Principles of Mycorrhizal Research. (Schenck, N. C., ed.). APS press St. Paul. MN.
25. Kucey, R. M. N., and M. E. Leggett. 1989. Increased yields and phosphorous uptake by Westar canola (*Brassica napus* L.) inoculated with a phosphate-solubilizing isolate of *Penicillium bilaaji*. Can. J. Soil Sci. 69: 425-432.
26. Mishustin, E. N., and V. K. Shil nikova. 1971. Biological Fixation of Atmospheric Nitrogen. Pennsylvania State Univ. Press, College Park. Pennsylvania.
27. Neyra, C. A., and J. Döbereiner. 1977. Nitrogen Fixation in Grasses. Advances in Agron. 29: 1-38.
28. Okon, Y., and Y. Kapulnik. 1986. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. Plant Soil 90: 3-16.
29. Olsen, S. R., and F. E. Khasawneh. 1980. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorous in soil. pp.361-410. in : The Role of Phosphorus in Agriculture.(Khasawneh, F.E., E.C. Sample, and E.J. Kamprath , eds.). Amer. Soc. Agron., Madison, Wis.
30. Raj, J., D. J. Bagyaraj, and A. Manjunath. 1981. Influence of soil inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhiza and a phosphate-dissolving bacterium on plant growth and ^{32}P-uptake. Soil Biol. Biochem. 13: 105-108.
31. Russel, E. W. 1973. Soil Conditions and Plant Growth. 10th ed., pp. 555-603. Logman, London.
32. Scheffer, F., and P. Schachtschabel. 1992. Lehrbuch der Bodenkunde. Fredinand Enke Verlag. Stuttgart.
33. Tien, T. M., M. H. Gaskins, and D. H. Hubbell. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). Appl. and Envir. Microbiol. 37: 1016-1024.
34. Toro, M. Azcon, R. Herrera, R. 1996. Effects on yield and nutrition of mycorrhizal and nodulated Pueraria phaseoloides exerted by P-solubilizing rhizobacteria. Biol. Fertil. Soil. 21 (1/2): 23-29.
35. Young, C. C. 1990. Effects of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of tree species in subtropical-tropical soils. Soil Sci. Plant Nutr. 36: 225-231.

Microbial Inoculation Effect on the Growth and Phosphorus Concentration of *Eustoma grandiflorum* [1]

Su-Chen Lin[2], Su-Yuang Lin[2] and Chi-Guang Wu[3]

Summary

The main purpose for this experiment was to evaluate the effect of VA mycorrhizal fungi (VA), phosphate-solubilizing (PS), and free-living nitrogen-fixing (NF) bacteria on the growth of *Eustoma grandiflorum*. Plants with 4 true-leaves were used for inoculation. Bulbs of calla lily were grown in the vermiculite-perlite-peat medium (6 ： 3 ： 1, v/v/v) with day/night temperatures as 23/18 ℃ and were fertilized with modified Hoagland's solution weekly. The growth effect of the microbes to calla lily was investigated and measured 116 days after inoculation. Treatments inoculated with either VA mycorrhizal fungus (VA) and free-living nitrogen-fixing bacteria (NF) have significantly higher dry weight of shoot (17% and 52%, respectively) and dry weight of root (56% and 50%, respectively) than those of uninoculated treatments (control). The plant growth of the treatment inoculated with phosphate-solubilizing bacteria (PS) was not significantly different from that of control. Any combination of VA+PS, VA+NF, or VA+PS+NF could promote 30%, 42%, and 39% dry weight of shoot, and 53%, 53% and 56% dry weight of root, respectively. Treatment inoculated with VA+NF and VA+NF+PS produced 2.4 and 3.2 flowers per plant, respectively, more than that of controls. Furthermore, these two treatments flowered 14 days earlier. Adding PS or NF to the VA inoculation, or mixing the three inoculants together caused slower in colonization rate. However, the shoot dry weight of each treatment is heavier than that of single VA inoculation. There is no promoting effect on phosphate uptake by plants among those different microbial inoculations.

Key words ： *Eustoma grandiflorum*, Arbuscular mycorrhizal fungi, Free-living nitrogen-fixing bacteria, Phosphate-solubilizing bacteria, Phosphorus.

---

1. Contribution No.2094 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture.
2. Respectively, Assistant Researcher, Research Assistant , Department of Agricultural Chemistry, TARI., Wufeng, Taichung, Taiwan.
3. Former Associate Researcher, Department of Agricultural Chemistry, TARI. Present Deputy Director, Taiwan Salt Biotech. Factory, Tainan, Taiwan.